



Рисунок 3 – Механизм контроля выгрузки

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белянин, П. Н. Промышленные роботы и их применение: робототехника для машиностроителя / П. Н. Белянин. – Машиностроение, 1983. – 311 с.
2. Белянин, П. Н. Промышленные роботы Японии: Обзор зарубежного опыта / П. Н. Белянин – М.: Машиностроение, 1977. – 456 с.

УДК 621.384

Сяхович П. В.

## ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ИСПАРЕНИЯ В ВАКУУМЕ

*Белорусский национальный технический университет,*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: канд. техн. наук,*

*доцент Комаровская В. М.*

В промышленности все чаще подымается вопрос о поиске инженерных решений, способствующих экономии дорогостоящего сырья. Одним из таких способов является упрочнение поверхностного слоя детали с помощью формирования покрытия с необходимыми физико – механическими свойствами путем электронно-лучевого испарения в вакууме.

Сущность электронно-лучевого воздействия состоит в том, что кинетическая энергия луча превращается в зоне обработки в тепловую. Благодаря концентрации тепловой энергии в диапазоне термического воздействия, необходимого для распыления практически любого материала и ведения процесса в вакууме, обеспечиваются его чистота и полная автоматизация оборудования.

Электронный луч по удельной энергетической мощности, легкости управления, эффективности и локальности нагрева превосходит все известные источники, уступая лишь лазерному излучению. Однако, в отличие от лазерного, электронный луч может иметь произвольную форму. Его преимущества также в том, что он не вносит примесей в обрабатываемый материал, может работать в агрессивной или инертной среде.

В производстве широко используется электронно – лучевые испарители, дающие возможность получения тонких пленок металлов, сплавов и диэлектриков. Хорошая фокусировка электронного пучка позволяет получать большую концентрацию мощности (до  $5 \cdot 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>) и высокую температуру, обеспечивая возможность испарения с большой скоростью даже самых тугоплавких материалов. Быстрое перемещение нагретой зоны в результате отклонения потока электронов, регулировка и контроль мощности нагрева и скорости осаждения создают предпосылки для автоматического управления процессом. В методе эффективно реализуется автотигельное испарение материала, поэтому он обеспечивает высокую чистоту и однородность осаждения [1].

Для формирования потока электронов предназначена электронная пушка, состоящая из вольфрамового термокатода и фокусирующей системы. Эмитируемые электроны проходят эту систему, ускоряются за счет разности потенциалов до 10 кВ между катодом и анодом и формируются в электронный луч. Отклоняющую систему создает магнитное поле, перпендикулярное направлению движения выходящих из фокусирующей системы пушки электронов. Это поле направляет электронный луч в центральную часть водоохлаждаемого тигля, причем в месте падения луча создается локальная зона разогрева и испарения вещества из жидкой фазы. Поток испарившегося материала осаждается в виде тонкой пленки на подложке, которая обычно располагается на определенном расстоянии над испарителем. Изменяя ток в катушке управляющего отклоняющей си-

стейой электромагнита, можно сканировать лучом вдоль тигля, что предотвращает образование "кратера" в испаряемом материале [2].

В электронной пушке с поверхности катода происходит эмиссия свободных электронов и их формирование под действием ускоряющих и фокусирующих электростатических и магнитных полей в пучок, который выводится в рабочую камеру через выходное отверстие. Для подведения электронного пучка к тиглю с испаряемым материалом и обеспечения его требуемых параметров используются главным образом магнитные фокусирующие линзы и отклоняющие системы. Беспрепятственное прохождение такого пучка до объекта возможно только в высоком вакууме. Вследствие бомбардировки поверхности электронным пучком, материал нагревается до температуры, при которой происходит его испарение с требуемой скоростью. В образующийся поток помещается подложка, на которую конденсируется испаряемое вещество. Испарительное устройство дополняется средствами измерения и контроля, которые особенно важны для управления электронным пучком в процессе напыления [3].

Около 30–40 % мощности электронного луча расходуется на плавление и испарение материала (2–10 % и 30–35 %, соответственно). Остальная мощность идет на теплообмен посредством теплопроводности, излучения и уносится вылетающими из зоны нагрева электронами. Эта мощность зависит от природы испаряемого материала и параметров электронного луча. Основная доля электронов уносится упруго- и неупругоотраженными электронами, количество которых определяется в первую очередь природой материала (для стали – около 25 % мощности, для вольфрама – 38 %) [2].

К недостаткам электронно-лучевого испарения следует

На сегодняшний день электронно-лучевое испарение активно развивается, интерес к технологии обусловлен возможностью формирования многокомпонентных покрытий с исключительными физико-механическими свойствами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мякин, С. В. Электронно-лучевое модифицирование функциональных материалов / С. В. Мякин, М. М. Сычев, И. В. Васильева [и др.]. СПб.: Изд-во ПГУПС, 2006.
2. Шиллер, Э. Электронно-лучевая технология / Э. Шиллер, У. Гайзиг, Панцер. – М.: Энергия, 1980.

3. Система управления процессом нанесения покрытия в электроннолучевой установке. / С. О. Бородин [и др.] М.: Вестник МЭИ, № 5, С. 123–124.

4. Автоматическое управление электротермическими установками: учебник для вузов // А. М. Кручинин [и др.]; под ред. А. Д. Свенчанского. М.: Энергоатомиздат, 1990.

УДК 621.865

Сяхович П. В.

**ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ КАК СПОСОБ  
РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТА ЗАГОТОВОК  
АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ  
ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВОЙ ПРОКАТКИ**

*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
Научный руководитель: канд. техн. наук,  
доцент Комаровская В. М.*

В государственном научном учреждении ФТИ НАН Беларуси установлена автоматическая линия поперечно-клиновой прокатки (ПКП). На линии существует проблема транспорта заготовок (загрузки и разгрузки) в качестве ее решения предложено рассмотреть промышленные роботы.

Современные роботы весьма разнообразны. В широком смысле понятие "робот" включает класс технических систем, которые воспроизводят двигательные и интеллектуальные функции человека. Есть несколько классификаций промышленных роботов: по типу управления, по степени мобильности, по области применения и специфике совершаемых операций.

Следует различать биотехнических, интерактивных и автоматических роботов. Биотехническими называются роботы, которые не обладают собственной памятью и непрерывно управляются человеком. К интерактивным относятся роботы с системой управления человек–машина. У автоматизированных интерактивных роботов имеет место чередование биотехнических и автоматических режимов работы. Автоматический робот состоит из трех систем: информационной, управляющей, исполнительной. Информационная (сен-